

Beszámoló a T-038437-számú OTKA pályázat támogatásával végzett tudományos munkáról

A T-038437-számú OTKA pályázat keretében 2002-2005 között végzett kutatások a következő három fő téma köré csoportosultak:

- A HATNet és a WHAT automata távcsövekkel végzett megfigyelések kiértékelése, az adatfeldolgozással és az adatanalízissel kapcsolatos problémák vizsgálata.
- A MACHO mikrolencsés projekt Nagy Magellán Felhőre (LMC-re) vonatkozó adatbázisának analízise az RR Lyrae csillagok fénygörbe modulációinak és multi-periódikus viselkedése vizsgálata céljából.
- Pulzáló csillagok vizsgálata, különös tekintettel a kétmódusú RR Lyrae és Cepheida változókra, valamint a segítségükkel történő távolságmeghatározás pontosságára.

Az eredmények ismertetése mellett kitérünk azok hatására, az eddig kapott idézetek alapján, valamint a pályázattal összefüggő egyéb tevékenységekre is. A korlátozott terjedelem miatt csak bizonyos, a pályázat fő tematikája miatt általunk legfontosabbnak vélt eredményeket ismertetjük.

Automata kistávcsövekkel történő észlelések feldolgozása

A Hungarian-made Automated Telescope Network (HATNet, Bakos et al. 2004) 2003, a Wise HAT (WHAT, Shporer et al. 2006) pedig 2004-óta végez megfigyeléseket az északi égbolt 8×8 fokos területeiről elsősorban periódikus extraszoláris bolygóátvonulások felfedezése céljából. A HATNet-tet a Center for Astrophysics (Harvard University), a WHAT-ot pedig a Wise és a Konkoly Obszervatóriumok támogatják a projektekhez csatlakozó különböző pályázatokon keresztül. A WHAT esetében ezek a források a Konkoly Obszervatórium részéről OTKA pályázatokat jelentenek (M-041922, T-038437).



Figure 1: A WHAT teleszkóp. Háttérben a Wise Obszervatórium fő műszere a melléképületekkel.

Az észlelt CCD képek feldolgozása és az ezáltal kapott fotometriai idősorok (fénygörbék) analízise a nagy adatmennyiség, elsősorban a nagy látómező miatt fellépő szisztematikus változások és a keresett jelek speciális alakja miatt igen nehéz feladat. Részben ezzel magyarázható, hogy a jelenleg a világ különböző obszervatóriumaiban futó mintegy 20 hasonló program (Horne, 2003) közül eddig csak egynek sikerült egyetlen felfedezést tenni (Alonso et al. 2004). Megjegyezzük, hogy az eddig ismert 9 forró Jupiter (HJ) közül 5-öt az OGLE projekt fedezett fel (Gould et al. 2006), amely projekt eredeti célja elsősorban mikrolencsék megfigyelése volt. Az OGLE által felfedezett HJk azonban 15 magnitúdónál halványabbak, ezért részletesebb utóvizsgálatok igen nehezek a mai technikával. Ezért minden nehézség ellenére továbbra is lényegesek maradnak a mienkéhez hasonló automata kistávcsöves programok, amelyek az égbolt nagy területéről képesek pontos és nagymennyiségű adatot gyűjteni 13 magnitúdónál fényesebb csillagokról.

A HAT távcsövek alapvető működési egységeinek, szoftvereinek leírása, valamint a publikáció időpontjáig elérhető pontosság illusztrálása a Bakos et al. (2002, 2004) és a Shporer et al. (2006)-ban található. A HAT-típusú teleszkópok szerkezeti elemeinek illusztrációjaként az 1. ábrán látható a WHAT teleszkóp. A WHAT projekttel és a HAT távcsövekkel kapcsolatos további információk tekintetében

a megfelelő web oldalakra utalunk.^{1 2}

A jelenlegi standard redukáló (képprocesszá-ló) eljárásunkkal kapott fénygörbék jelentős részében olyan instrumentális szisztematikák ma-radnak, amelyek igen megnehezítik (vagy lehe-tetlenné teszik) a szofisztikáltabb jelek, például tranzitok keresését. Ezért fejlesztettünk ki egy olyan, poszt-processzá-ló eljárást, amely lehető-vé teszi ezen effektusok kiszűrését és a periódí-kus jelek rekonstrukcióját. A módszer (Trend Filtering Algorithm, vagy TFA) lényege az a-dott mezőre vonatkozó adatbázisból kiválasz-tott nagyszámú templét fénygörbe illesztése a tra-get fénygörbéhez. Ez a processzus feltételezi, hogy a jel szisztematika- és zaj-dominált, amely az esetek nagy részében igaz is. Mivel a TFA a szisztematikák kiszűrése közben torzítja a jelet, annak rekonstruálására is szükség van. Ez szintén a TFA segítségével történik, ezalka-lommal azonban a jel és a megfigelések közötti eltérésekre iterative alkalmazva. A módszer részletesebb leírását a különböző tesztekkel e-gyütt a Kovács, Bakos & Noyes (2005)-ben ad-tuk meg. Illusztrációként a 2. ábrán a HAT-Net és a WHAT által közösen mért #192 jelű mezőben található egyik fedési változócsillag fénygörbét mutatjuk a TFA rekonstrukció e-lőtt és után. Látható, hogy a TFA alkalmazása igen jelentősen csökkentette az erős szisztema-tikákat. Az adatok nagy száma és a két ál-lomás közötti nagy földrajzi hosszúságbeli kü-lönbség igen jó lefedettséget és robusztus de-tekálási szignifikanciát eredményez.

A periódikus tranzitok keresésére egy speci-ális, de a problémához természetesen illő, egy-szerű és gyors eljárást dolgoztunk ki (Box-fit-ting Least Squares, vagy BLS, Kovács et al. 2002).

Végeztünk az ehhez a témakörhöz szorosan csatlakozó extraszoláris bolygó kutatással kap-csolatos vizsgálatokat is. A Kovács & Bakos (2006)-ban az OGLE adatbázis 2500 fedési vál-tozójának analizisével megmutattuk, hogy meg-

felelő jel/zaj esetén csupán a fénygörbék se-gítségével szét lehet választani a blendek mi-att bekövetkező ‘tranzit imitációkat’ a valódi bolygó tranzitoktól. Bakos et al. (2006) vizs-gálta a HD 189733 HJ rendszer térbeli moz-gását. Kiderült, hogy van egy, a főkomponens körül 216 AU-ra keringő *M* színeképtípusú má-sodkomponens is. A másodkomponens pálya-síkja a látóirányra merőleges, míg a bolygóé (a megfigyelt tranzit miatt) azzal egybeesik. Ez az első olyan bolygót is tartalmazó kettős rend-szer, ahol a bolygó egyben tranzit jelenséget is mutat.

RR Lyrae csillagok multiperiodi-citása az LMC-ben

Azt az általános kérdést vizsgáltuk, hogy mi-lyen gyakoriak az amplitúdó- és fázis-modulált (Blashko) RR Lyrae csillagok az LMC-ben. Ko-rábbi vizsgálataink alapján (Alcock et al. 2000) az elsőfelhangú RR Lyrae csillagok közötti gya-koriság sokkal kisebbnek adódott, mint az a Galaktikus mezőben az alapmódusúakra álta-lában elfogadott volt (a jelenlegi, lényegében fenomenologikus elméletek körülbelül egyforma gyakoriságot adnak). Két publikáció született ebből a témakörből. Az elsőben (Alcock et al. 2003) az LMC 6400 alapmódusú csillagának frekvencia analizisével kimutattuk, hogy azok 12%-a Blashko típusú. A második publiká-cióban (Nagy & Kovács 2006) 1330 első fel-hangú csillagot vizsgátuk kétszínbeli frekven-cia spektrumok átlagolásával. Az így megnö-velt jel/zaj arány lehetővé tette, hogy további Blashko csillagokat fedezzünk fel és így az előző analizisünk alapján kapott 4%-os gyakoriságot 7.5%-ra növeljük. Bár ez az érték már közelebb van az alapmódusú Blashko csillagok gya-koriságához, a különbség még mindig jelentős és a Blashko jelenség pulzációs módustól való füg-gőségét mutatja, amelyet (további más tulaj-donság mellett) a jelenlegi modellek még nem képesek reprodukálni (Kovács 2002a).

Pulzáló változócsillagok kutatása

Több különböző kutatást végeztünk ebben a

¹<http://wise-obs.tau.ac.il/~what/>

²<http://www.cfa.harvard.edu/~gbakos/HAT/>

témakörben. A pulzáló csillagokat alkalmazhatóságát a kozmikus távolságmeghatározásban több cikkben vizsgáltuk.

Egyik gyakran emlegetett, de alaposan soha nem vizsgált ellentmondás volt a Cepheidákra és az RR Lyrae csillagokra alkalmazott Baade-Wesselink módszerből kapott távolságok diszkrepanciája. Megmutattuk, ha a számításokat mindkét csillagcsoportra ugyanolyan módon és kellő körültekintéssel végezzük, akkor konzisztens eredményt kapunk (Kovács 2003).

A kétmódusú radiálisan pulzáló változók különlegesen fontosak, hiszen az egyidejűleg megfigyelhető periódusok segítségével már aránylag egyszerűen számolható lineáris pulzációs modelleken keresztül is fontos becsléseket adhatunk a csillagok paramétereire. Amennyiben még a fémtartalom és a hőmérséklet (például a megfigyelt színek alapján csillaglégkör modellekből becsülve) is ismertek, úgy a csillag összes alapparaméterét ki tudjuk számítani. Ezzel a módszerrel vizsgáltuk meg az LMC-beli RR Lyrae csillagok, valamint az LMC- és SMC-beli Cepheidák luminozitását és a belőlük le származtatható távolságokat (Kovács 2002b). Azt kaptuk, hogy mindegyik csillagcsoportból ugyanazt a 'kanonikus' 18.5 mag távolságmodulus adódik az LMC-re. Ezekben a számításokban feltételeztük, hogy a Cepheida populációk kémiaiilag homogének. Bizonyos fejlődési elméletek viszont azt jósolják, hogy a rövidperiódusúak (vagyis az SO/FO kétmódusúak is) alacsonyabb fémtartalmúak. Ezért megvizsgáltuk, hogy milyen hatása lehet ennek a belőlük származtatott távolságra (Kovács 2006). A 3. ábrán látható, hogy az alacsonyabb fémmesség a kérdéses csillagcsoportból le származtatott távolságot lényegében nem befolyásolja, viszont pontosabbá teszi az SO/FO Cepheidákra a periódusarányok illesztését. Úgy gondoljuk, hogy a fenti munka megerősíti az LMC- és SMC-ben található Cepheidák kémiai inhomogenitására vonatkozó más eredményeket.

További eredményeink közül megemlítenéd, hogy több irreguláris változó hosszútávú megfigyeléseit felhasználva, megerősítését találtuk

annak, hogy ezen változók pulzációi alacsony dimenziójú kaotikus dinamikára utalnak (Buchler et al. 2004).

Kapcsolódó tevékenységek

- A jelen pályázat kapcsolódik a 2002-ben odaitélt M-041922-számú OTKA műszerpályázathoz, melynek keretében 2004. január óta működtetjük HAT-típusú távcsövünket az izraeli Wise Observatóriumban. A folyamatos működéshez és a fejlesztéshez szükséges hardver támogatás egy részét a jelen pályázat adta.
- A pályázat által finanszírozott szerződéses munkák is a fent említett projekthez kapcsolódtak és igen fontos szerepet játszottak az adatfeldolgozás fejlesztésében. A következő személyeket alkalmaztuk (az alkalmazások néhány hónaptól éves időszakig terjedtek): Domsa István (2002-2003, adatredukciós pipeline fejlesztés); dr. Kupi Gábor (2003-2004, web interface a HAT távcsövek irányítására); Sipőcz Brigitta (2004-, HAT adatredukció); Pál András (2005-2006, adatredukciós pipeline fejlesztés).

Kutatások impaktja

A pályázat támogatásával összesen 17 cikk jelent meg, vagy van megjelenőben. Ezekből 12 referált folyóirat cikk, 5 pedig konferencia kiadvány (poszter vagy előadás, mindkettő nyomatásban megjelenő). A fenti cikkekre összesen 88 független hivatkozás történt, igen nagy százaléka SCI által is követett folyóiratokban. A legtöbb hivatkozás (számszerint 34) eddig a BLS módszerünket leíró cikkekre (Kovács et al. 2002) született. A módszer alkalmazásával jelentősen megnövekedett az OGLE projektben detektált tranzitok száma (Gould, 2006 és a hivatkozások a cikkben, valamint az OGLE honlap ³). Az eredményekből többször tartot-

³http://sirius.astro.uw.edu.pl/~ogle/ogle3/transits/new_transits.html

tunk előadást különböző nemzetközi konferenciákon.

References

- [1] Alcock, C. et al., The MACHO collaboration, 2000, *ApJ*, **542**, 257.
- [2] Alcock, C. et al., The MACHO collaboration, 2003, *ApJ*, **598**, 597-609.
- [3] Alonso, R. et al., 2004, *ApJ (Letters)*, **613**, L153-L156.
- [4] Bakos, G. A., Lázár, J., Papp, I., Sári, P., Green, E. M., 2002, *PASP*, **114**, 974-987.
- [5] Bakos, G., Noyes, R. W., Kovács, G., Stanek, K. Z., Sasselov, D. D., Domsa, I., 2004, *PASP*, **116**, 266-277.
- [6] Bakos, G. A., Pál, A., Latham, D. W., Noyes, R. W. & Stefanik, R. P., 2006, *ApJ (Letters)*, in press, astro-ph/0602136
- [7] Buchler, J. R.; Kolláth, Z.; Cadmus, R. R., Jr., 2004, *ApJ*, **613**, 532-547.
- [8] Gould, A., Dorsher, S., Gaudi, B. S. & Udalski, A., 2006, *Acta Astron.*, in press, astro-ph/0601001
- [9] Horne, K., 2003, *ASP Conf. Ser.*, **294**, 361.
- [10] Kovács, G., Zucker, S., Mazeh, T., 2002, *A&A*, **391**, 369-377.
- [11] Kovács, G., 2002a, *ASP Conf. Proc.*, **259**, 396-403.
- [12] Kovács, G., 2002b, *ASP Conf. Proc.*, **265**, 163-176.
- [13] Kovács, G., 2003, *MNRAS*, **342**, L58-L62.
- [14] Kovács, G., Bakos, G. & Noyes, R. W., 2005, *MNRAS*, **356**, 557-567.
- [15] Kovács, G., 2006, *Memorie della Societa' Astronomica Italiana*, **76/4**, astro-ph/0511524
- [16] Kovács, G., Bakos, G., 2006, *A Decade of Extrasolar Planets around Normal Stars*, May 2-5, 2005, STScI, to appear in the conference proceedings, astro-ph/0508081
- [17] Nagy, A. & Kovács, G., 2006, *A&A*, accepted, astro-ph/0602485
- [18] Shporer, A., Mazeh, T., Moran, A., Bakos, G., Kovács, G. & Mashal, E., 2006, *Tenth anniversary of 51 Peg-b: Status of and prospects for hot Jupiter studies*, ed. L. Arnold et al., to appear in the conference proceedings, astro-ph/0510766

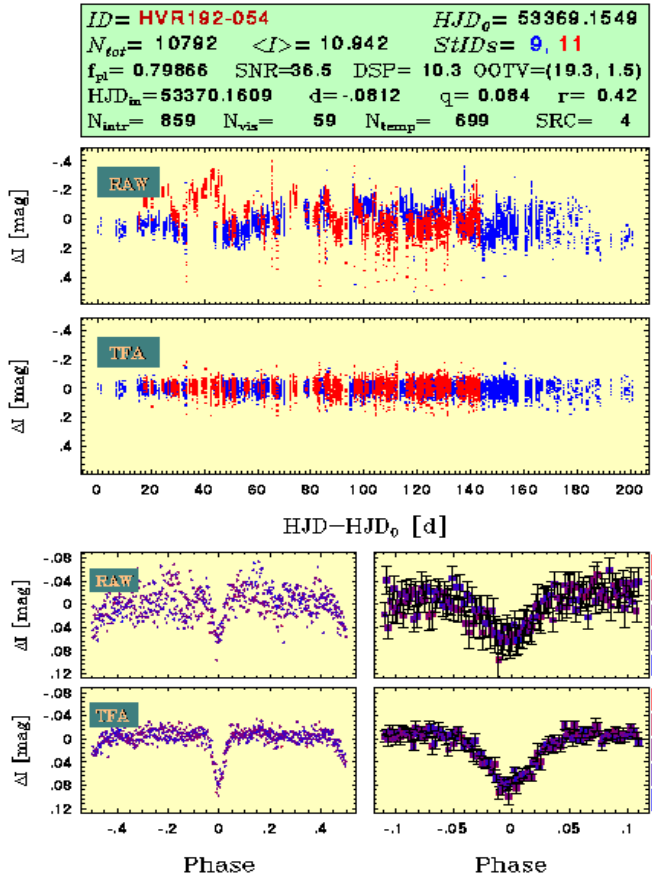


Figure 2: Példa a TFA hatékonyságára és a HAT-Net+WHAT rendszerrel gyűjthető adatmennyiségre és annak minőségére. Az ábra információs fejlécében a következő adatokat tüntettük fel. *ID*: változónév; *HJD₀*: első észlelési időpont; *N_{tot}*: adatpontok száma; *<I>*: átlag *I_c* magnitúdó; *STIDS*: állomásazonosítók (9=Hawaii, 11=Wise); *f_{pl}*: orbitális periódushoz tartozó frekvencia ($[d^{-1}]$ -ben); *SNR*: a BLS spektrum jel/zaj viszonya; *DSP*: a tranzit szignifikanciájára jellemző mennyiség; *OOTV*: a vektor első eleme megadja a tranziton kívüli fényváltozásban található legerősebb szinuszos jel szignifikanciáját, a második elem pedig az ehhez tartozó frekvenciát az orbitális frekvencia (*f_{pl}*) egységében; *HJD_{in}*: az ingress időpontja; *d*: a tranzit mélysége; *q*: a tranzit relatív hossza (az orbitális periódus egységében); *r*: az ingress hossza a tranzit teljes tartamához képest; *N_{intr}*: a tranzitban található adatpontok száma; *N_{vis}*: hány különböző tranzitba esett megfigyelt adatpont; *N_{temp}*: a TFA templét fénygörbék száma; *SCR*: jel rekonstrukciós kód. A paraméterekre vonatkozó további részletek a Kovács & Bakos (2006)-ban találhatóak.

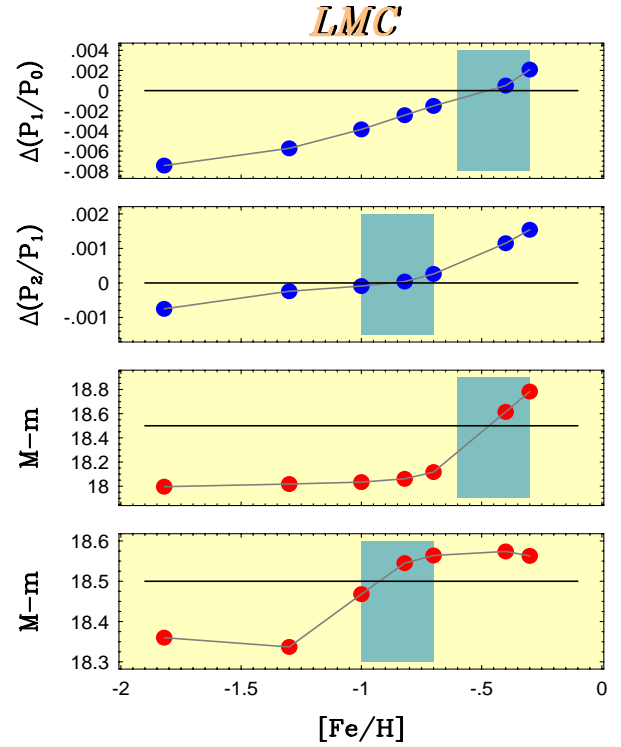


Figure 3: Az LMC 19 FU/FO és 57 SO/FO Cepheidái átlagos periódusarány különbségeinek (megfigyelt mínusz számolt) és távolságmodulusainak függősége a fémességtől. Az FU/FO és az SO/FO változókra vonatkozó eredmények alulról számolva a második és a negyedik, illetve az első és a harmadik boxban láthatók. Az alsó két boxban a vízszintes vonal a 'kanonikus' 18.5 távolságmodulust jelöli. A sötétebb árnyalatú boxok az egzakt periódus illesztés körüli ± 0.15 dex fémességhatárokat jelölik.